

EL BOSÓN DE HIGGS COMO FUNDAMENTO PROPORCIONADOR DE MASA A LA MATERIA

CIN2016A20138

FEBRERO 2016

Centro Universitario México, A.C.

Ciencias Fisicomatemáticas y de las Ingenierías: Física

Documental

Autores:

Carlos Emilio Camacho Lorenzana

Daniel Maximiliano Ponce Chávez

Jorge Alberto Reynoso Torres

Luis Ángel Yáñez Alarcón

Asesor: Profr. Jesús Flores Téllez

RESUMEN

Nuestro proyecto tiene como objetivos presentar los argumentos que actualmente se tienen para proponer la partícula hipotética llamada Bosón de Higgs; exponer las ideas que rigen el Modelo Estándar de la Materia en un lenguaje comprensible para jóvenes o público de nivel bachillerato; y exponer las propuestas más recientes que expliquen la naturaleza del Bosón de Higgs dentro del Modelo Estándar. La hipótesis principal del trabajo es que si la existencia del Bosón de Higgs es una realidad, entonces podrá arreglar las incoherencias que presenta el Modelo Estándar. Comenzaremos con una introducción breve a los aceleradores que se han construido a largo de la historia, llegando hasta el Gran Colisionador de Hadrones, para proseguir con las ideas básicas del Modelo Estándar de la Materia y la clasificación de partículas que presenta. Proseguiremos con la explicación del descubrimiento del Bosón de Higgs en el colisionador de hadrones, explicaremos las características de este nuevo bosón, y profundizaremos en la simetría que rige el Modelo Estándar y las numerosas incongruencias que presenta, para finalizar con la explicación cuántica de lo que entendemos por masa, y así dar a conocer el papel fundamental del Bosón de Higgs para poder corregir y mantener la simetría propuesta en el Modelo Estándar, haciendo una breve explicación de algunos modelos propuestos que interpretan la naturaleza del bosón y su interacción con las demás partículas.

Palabras clave: bosón, Higgs, simetría, modelo estándar, masa, naturaleza

ABSTRACT

Our project aims to present the current arguments we have to propose a hypothetical particle called the Higgs boson; present ideas that governs the Standard Model of matter in a language understandable to young or public high school level; and expose the most recent proposals to explain the nature of the Higgs boson in the Standard Model. The main working hypothesis is that if the existence of the Higgs boson is a reality, then we can fix inconsistencies presented by the Standard Model. We begin with a brief introduction to accelerators that have been built throughout history, reaching the Large Hadron Collider, to continue with the basic ideas of the Standard Model of matter and the classification of particles. We will continue with the explanation of the discovery of the Higgs boson at the Large Hadron Collider, while we explain the characteristics of this new boson, and delve into the symmetry that governs the Standard Model, which seems to present numerous inconsistencies, ending with quantum explanation of what we mean by mass, and so raise awareness of the fundamental role of the Higgs boson to correct and maintain proposed in the Standard Model symmetry, with a brief

explanation of some proposed models to interpret the nature of the boson and its interaction with other particles .

Keywords: boson, Higgs, symmetry, standard model, mass nature.

INTRODUCCIÓN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El ser humano, desde sus comienzos, ha tratado de explicar todos los fenómenos que ocurren en su entorno, haciendo una abstracción de la realidad para poder comprenderla a profundidad. En los años cincuenta y sesenta surge en el campo de la Física una fascinación por el descubrimiento de partículas elementales a gran escala, teniendo características muy diferentes entre ellas, y con mucha información que no se tenía contemplada en aquella época. Por lo que surge la necesidad de hacer una clasificación de éstas, para poder analizarlas y encontrar patrones que pudiesen explicar la naturaleza de estas partículas fundamentales, llegando a la teoría denominada Modelo Estándar de la Materia, el cual se rige bajo ciertos patrones llamados Simetrías, que dan una explicación de lo que sucede en la naturaleza a niveles subatómicos. Sin embargo, en ocasiones esta simetría no se cumple en condiciones determinadas, y los científicos proponen al denominado Campo de Higgs como solución ante esta ruptura de simetría. Esta teoría plantea la existencia de un Bosón capaz de otorgar masa a la materia, y la que produce el Campo de Higgs, para poder corregir esa ruptura. Pasó mucho tiempo hasta que en el 2012 en el Gran Colisionador de Partículas, localizado en Suiza y Francia, arrojara datos que coincidían con la partícula hipotética tan buscada por los científicos. Por lo tanto en este proyecto expondremos los datos y argumentos que se han registrado hasta la actualidad sobre este Bosón, y profundizando con la simetría que presenta el Modelo Estándar, daremos una explicación de diferentes propuestas que buscan mantener el equilibrio del Modelo Estándar fundándose en la naturaleza del Bosón de Higgs con las partículas fundamentales

HIPÓTESIS O CONJETURAS

Si realmente existe la partícula hipotética llamada Bosón de Higgs, entonces la naturaleza de este bosón podrá explicar con mayor detalle el funcionamiento del Modelo Estándar sobre las partículas fundamentales.

JUSTIFICACIÓN

En 1960 la formulación de la teoría del Modelo Estándar fue muy criticada por la comunidad científica, debido a diferentes incongruencias que no podían tener cabida en una formulación física, pues las reglas que el Modelo implementaba resultaban insatisfactorias en ciertos casos. Por lo que Peter Higgs, y en investigaciones aparte F. Englert y R Brout, en 1964, presentaron un modelo matemático que corregía las diferentes alteraciones que presentaba el modelo. Sin embargo, no había evidencia experimental de su modelo, y no fue sino hasta el 2 de julio de 2012, casi 50 años después, que en el experimento del Gran Colisionador de Hadrones, se obtuvieron resultados que concordaban con lo planteado por estos científicos, por lo que se dio por hecho el descubrimiento del Bosón de Higgs. Sin embargo, tener la profunda certeza de la existencia del bosón de Higgs es casi imposible, debido a que debemos utilizar métodos indirectos para obtener resultados y poder interpretarlos.

OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICO

- Presentar los argumentos que existen en la comunidad científica sobre la existencia del Bosón de Higgs y su funcionamiento en el Modelo Estándar
- Entender el concepto de masa, para relacionarlo con la función del Campo de Higgs.
- Lograr entender la naturaleza del Bosón de Higgs mediante propuestas que traten de explicar su relación con el Modelo Estándar y las partículas

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El presente trabajo se enmarca en las investigaciones documentales que presentan los temas que se presentarán a continuación, tomando como base el libro titulado "Beyond the God Particle", escrito por Leon Lenderman, premio Nobel de física, y Christopher Hill, ambos expertos en la partícula del Bosón de Higgs; y utilizando también muchas referencias bibliográficas y electrónicas para conjuntarlas en el proyecto

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Se realizó el análisis directo de las fuentes y la investigación documental del Modelo Estándar, Bosón de Higgs, Masa y Simetrías, para después conjugarlo en un escrito que permita encontrar las relaciones que expliquen la relevancia que tiene el Bosón de Higgs en el campo de la Física de Partículas

RESULTADOS OBTENIDOS

Acelerador	Año	Creador	Idea general	Potencia
Tubo de rayos catódicos	1897	J.J. Thompson	Obtener un tubo alargado, con una presión de gas casi nula en el que se colocan dos placas metálicas separadas y con una gran diferencia de potencial. Este campo eléctrico creado arranca electrones de los pocos átomos del gas y los “acelera” entre las placas, produciendo un haz de electrones	Electron
Acelerador de Cockcroft y Walton	1932	Cockcroft y Walton	Su diseño es bastante simple y consiste en acelerar directamente partículas mediante la aplicación de una diferencia de potencial creada por una tensión de alto voltaje	1-2MeV
Acelerador de Van der Graff	1929	Robert J. Van de Graaff	Consiste en una cinta transportadora de material aislante motorizada, que transporta carga a un terminal hueco. La carga es depositada en la cinta por frotamiento a través del efecto triboeléctrico. Dentro del terminal, la carga es recolectada por una varilla metálica que se aproxima a la cinta. La carga, transportada por la cinta, pasa al terminal esférico nulo.	1-5 MeV
Ciclotrón	1932	Lawrence y Living	Las partículas se inyectan en el centro de dos pares de imanes en forma de "D". Cada par forma un dipolo magnético y además se les carga de forma que exista una diferencia de potencial alterna entre cada par de imanes. Esta combinación provoca la aceleración, circular cuando la partícula se encuentra dentro de uno de los pares, y lineal cuando está entre los dos pares.	1 MeV

Sincrotrón	1952	Laboratorio Brookhaven	<p>Acelerador de partículas (electrones), que aumentan la energía cinética de los electrones manteniéndolos en trayectorias circulares, que alternan tramos circulares con tramos rectos hasta cerrar la trayectoria. Se usan varios tipos de magnetos. La primera clase, constituida de magnetos multipolares, produce un campo magnético no uniforme que actúa como una lente y no deja que el haz de electrones se salga de una región bien restringida: los electrones viajan hombro con hombro al dar la vuelta al sincrotrón. Otro tipo de magnetos produce un campo uniforme que es perpendicular al plano de la trayectoria y obliga al cambio de trayectoria de los electrones.</p>	3GeV
Tevatrón	1983	Fermilab	<p>El primer paso se realiza en un preacelerador de Cockcroft-Walton de 750 keV, que ioniza gas hidrógeno y acelera los iones negativos usando un voltaje positivo. Posteriormente, los iones pasan a través de un acelerador lineal de 150 m, donde son acelerados hasta 400 MeV por medio de campos eléctricos oscilantes. Su paso a través de una lámina de carbono elimina los electrones, y los protones resultantes se conducen al Booster, pequeño acelerador circular en que los protones llegan a adquirir energías de unos 8 GeV. De allí pasan al inyector principal, y finalmente el Tevatrón acelera protones y antiprotones en sentidos opuestos.</p>	1 TeV

1. Cuadro comparativo sobre los aceleradores de partículas antes del LHC.

Comenzamos con breve cuadro comparativo de los aceleradores de partículas antes de la existencia del Gran Colisionador de Hadrones (LHC).

El tubo de rayos catódicos creado por Thomson, por su mecanismo, es el primer acelerador de partículas. Insistimos en que puede ser llamado acelerador porque dentro del tubo se encuentra algún gas con presión casi nula y en los extremos del tubo hay placas metálicas instaladas con una diferencia de potencial eléctrico. El campo eléctrico creado por la diferencia de potencial extrae los electrones del átomo del gas y la misma diferencia de potencial acelera las partículas. Dicho tubo de rayos fue el origen del televisor, monitores y osciloscopios.

Sin embargo, el primer acelerador de partículas desarrollado formalmente fue desarrollado en Cambridge por Cockroft y Walton en 1932. Este acelerador llevó a cabo la primera desintegración nuclear en la historia. La energía alcanzada por los iones es de 740 keV (30 veces la energía de un televisor).

En 1929, Robert J. Van der Graaff desarrolla un acelerador en el MIT para hacer chocar partículas (con velocidades altas) contra blancos fijos. Para 1931, Van der Graaff desarrolló otro acelerador el cual alcanzaba diferencias de potencial de 1 meV. El acelerador de Van der Graaff sigue siendo usado en diversos museos alrededor del mundo (entre ellos Universum) para llevar a cabo experimentos.

El artículo "Producción de iones ligeros de alta velocidad sin el empleo de grandes voltajes" de la revista "Physical Review" de 1932 describe el ciclotrón, nuestro siguiente acelerador. El ciclotrón fue desarrollado por Ernest Lawrence y Stanley Livingstone. Funciona a partir de un par de placas semicirculares (forma de letra "D") que se encuentran dentro de un imán al vacío. Entre las placas hay una separación en la que se inyectan partículas. Debido al campo magnético y a la carga eléctrica de las placas, las partículas en los ciclotrones desarrollados por Lawrence alcanzan energías de 16 meV. A comparación de los aceleradores anteriores, el ciclotrón no presenta problemas en cuanto a campos eléctricos intensos. Cuando las partículas alcanzan la velocidad esperada se hacen chocar en una cámara de bombardeo.

El principio de estabilidad de fase marca la diferencia entre el ciclotrón y el sincrotrón. En 1945, Edwin McMillan y Vladimir Veksler propusieron (independientemente) aceleradores basados en dicho principio, dando origen los sincrotrones. La desventaja que presentaba el ciclotrón era que debido a la física relativista, una partícula con velocidad cercana a la de la luz manifestaba el aumento de energía a través de la masa, sin embargo, al aumentar la masa también debía hacerlo el período de giro, por lo tanto se rompería el sincronismo con el que la partícula se mueve y esto puede ocasionar un desvío haciendo que

la partícula choque con el haz de partículas opuesto antes de lo planeado. El primer sincrotrón de electrones fue desarrollado en 1949 por McMillan alcanzando energías de 300 meV. El primer sincrotrón de protones fue desarrollado en 1948. Fue llamado Cosmotron. Comenzó a funcionar con energías de 3.3 GeV. Encargados de desarrollo y diseño idearon métodos para aumentar la eficiencia de los aceleradores usando lentes magnéticas convergentes y divergentes. Dicha idea fue tomada para construir el sincrotrón de protones en el CERN, el cual alcanzó energías de 10 GeV en 1959. En 1983 se concluyó la construcción del sincrotrón del Fermilab llamado Tevatron. En 1987 se realizaron las primeras colisiones alcanzando los 1.8 TeV (0.9 por haz). El Tevatron ha sido uno de los aceleradores más importantes porque en él se descubrió el quark "Top" en 1995 y el neutrino tauónico en el año 2000.

El último paso que se ha dado en cuanto a aceleradores es el LHC (Large Hadron Collider). El LHC del CERN es la culminación de todos los aceleradores anteriores. Sus actividades comenzaron en 2008 cuando los primeros haces de partículas fueron inyectados. Se ubica en la frontera entre Francia y Suiza. Es una estructura circular de 27 kilómetros de circunferencia. El funcionamiento del LHC es sencillo, pero a la vez complejo. Todo comienza con una botella de hidrógeno comprimido. Los átomos son inyectados en la cámara alimentadora del primer acelerador lineal (Linac 2). En la cámara, los electrones son arrancados de los átomos, dejando sólo protones. En esta parte se introduce una carga eléctrica a la cámara para comenzar a acelerar los protones. Para cuando los protones abandonen el acelerador "Linac 2" contarán con un tercio de la velocidad de la luz. Después, los protones entran a un acelerador circular de 127 metros de circunferencia (booster) en el que el paquete de protones es dividido en cuatro para aumentar la velocidad más fácilmente en cada paquete. Se vuelve a introducir una carga eléctrica para acelerar los protones cada que alcanzan cierto punto y también se usan electroimanes para doblar la trayectoria del haz de protones en el acelerador. El booster acelera los protones a 91.6% de la velocidad de la luz y aglutina los paquetes de protones. Al salir del booster se vuelven a unir los cuatro paquetes de protones para entrar al sincrotrón de protones, el cual tiene 628 metros de circunferencia. El sincrotrón usa 277 imanes a temperatura ambiente, de los cuales 100 son dipolos para manipular la trayectoria de los protones. Los protones alcanzan 99.9% de la velocidad de la luz. Este es un punto importante porque la velocidad es un límite ahora. Puesto que la velocidad de la luz no puede ser alcanzada al 100%, la energía que se le provee a los protones necesita expresarse de otro modo: la masa. La energía cinética alcanzada por los protones en este punto es de 25 GeV (25 veces más pesados). Ahora, los protones son enviados a la siguiente fase: el súper-sincrotrón de protones. Tiene 7 kilómetros de circunferencia. La energía aumenta ahora a 450 GeV. La energía de

los protones será ahora la suficiente para enviar los protones al LHC el cual tiene 27 km de circunferencia. Dentro del anillo del LHC hay dos tubos al vacío. En cada anillo viaja un haz de protones en dirección opuesta; girando uno en dirección de las manecillas del reloj y el otro en dirección opuesta a las manecillas del reloj. Los dos tubos tienen cuatro intersecciones a lo largo de toda la circunferencia en las que se puede hacer colisionar a los haces. Se inyectan haces por hora y media de modo que al cumplirse el lapso se cuenta con 2,808 paquetes de protones circulando. El LHC dota de tal energía a los paquetes, tal que los paquetes giran 11,000 veces por toda la circunferencia en un segundo. Ahora cada protón cuenta con 7 TeV y son 7,000 veces más pesados que si estuvieran en reposo. La energía en los imanes que doblan la trayectoria de los protones debe ser de 12,000 amperes y esto es logrado haciendo que la temperatura sea menor a la que existe en el espacio exterior, por lo tanto los imanes se vuelven superconductores. Los protones están listos para colisionar cuando finalmente un imán altera la trayectoria. La energía producida en la colisión es de 14 TeV (7 TeV por cada protón) recreando así las condiciones que hubo alguna vez en el Big Bang. Los resultados son registrados en un sistema de computadoras del mismo CERN. Esto constituye la base para el modelo estándar de la materia.

MODELO ESTANDAR DE LA MATERIA

El llamado Modelo Estándar de las partículas elementales no es propiamente un modelo, es una teoría. Como lo menciona el físico Gordon Kane:

“El Modelo Estándar es, en la historia, la más sofisticada teoría matemática sobre la naturaleza. A pesar de la palabra “modelo” en su nombre, el Modelo Estándar es una teoría comprensiva que identifica las partículas básicas y especifica cómo interactúan. Todo lo que pasa en nuestro mundo (excepto los efectos de la gravedad) es resultado de las partículas del Modelo Estándar interactuando de acuerdo con sus reglas y ecuaciones” (Gordon Kane 2003, físico teórico de la Universidad de Michigan)

El modelo sostiene que existen doce partículas elementales (además de sus correspondientes antipartículas) las cuales podríamos decir que son los verdaderos átomos (en el sentido etimológico de la palabra: sin partes). Estos son: **leptones y quarks**.

Hay seis leptones: (electrón, muón, tau, neutrino del electrón, neutrino del muón y neutrino del tau) y seis quarks [quark up (u) quark down (d), quark charm (c), quark extraño (s), quark bottom (b) y quark top (t)].

Sin embargo, los quarks tienen una propiedad llamada color y cada uno puede presentar tres colores (rojo, verde y azul). Hay, por tanto, 18 quarks. Pero, como a

cada partícula le corresponde una antipartícula, existirían en total 12 leptones y 36 quarks.

Las partículas que tienen estructura interna se llaman:

- hadrones; están constituidas por quarks
- bariones cuando están formadas por tres quarks o tres antiquarks,
- mesones cuando están constituidas por un quark y un antiquark.

Una característica peculiar de los quarks es que tienen carga eléctrica fraccionaria, ($+ 2/3 e$) para algunos tipos y ($-1/3 e$). Sin embargo, nunca se han detectado quarks libres, están siempre confinados en hadrones, de tal modo que la suma algebraica de las cargas de los quarks que constituyen un determinado hadrón es siempre un múltiplo entero de "e". Ejemplo: el protón.

En la naturaleza hay cuatro tipos de interacciones fundamentales: gravitacional, electromagnética, fuerte* y débil. Cada de ellas es debida a una propiedad fundamental de la materia: masa (interacción gravitacional), carga eléctrica (interacción electromagnética), color (interacción fuerte) y carga débil (interacción débil). Si a cada una de esas propiedades las llamamos carga, tendremos cuatro cargas: carga masa, carga eléctrica, carga color y carga débil.

La interacción fuerte puede ser dividida en fundamental y residual; la fundamental es la propia interacción fuerte, la residual deriva de balances imperfectos de las atracciones y repulsiones entre los quarks que constituyen los hadrones.

Así, hay también cuatro fuerzas fundamentales en la naturaleza: fuerza gravitacional, fuerza electromagnética, fuerza color y fuerza débil

Las partículas mediadoras o partículas de fuerza se llaman **bosones**, y son

- ✚ los fotones en la interacción electromagnética, los gluones en la interacción fuerte, las partículas W y Z en la interacción débil y los gravitones (aún no detectados) en la interacción gravitacional.
- ✚ Las partículas mediadoras pueden no tener masa, pero tienen energía, o sea, son pulsos de energía. Por eso, se llaman virtuales. De los cuatro tipos de partículas mediadoras, las del tipo W y Z tienen masa, pero es común que todas sean llamadas partículas virtuales.
- ✚ Las partículas con espín en mitades fraccionarias se llaman Fermiones, y son de la materia



Figura 1. Imagen que muestra las partículas del Modelo Estándar de la materia

Quarks			Leptones			
1ra generación						
Nombre	Masa	Carga	Nombre	Masa	Carga	Espín
Up	2.3 MeV	+2/3	Electrón neutrino	<2eV	0	1/2
Down	4.8 MeV	-1/3	Electrón	.511MeV	-1	1/2
2da generación						
Charm	1.27 GeV	+2/3	Muón neutrino		0	1/2
Strange	95MeV	-1/3	Muón	.105GeV	-1	1/2
3ra generación						
Top	178 GeV	+2/3	Tau neutrino		0	1/2
Beauty	4.18 GeV	-1/3	Tau	1.78 GeV	-1	1/2

Cuadro 2. Cuadro comparativo que muestra las tres generaciones de fermiones y leptones del Modelo Estándar de la Materia

SIMETRÍAS EN EL MODELO ESTÁNDAR

Muchas de las ideas profundas de la naturaleza se manifiestan como simetrías. Una simetría en un experimento físico, sugiere que algo se conserva o se mantiene constante durante el experimento.

1. PARIDAD

La paridad implica una transformación, que cambia el signo de un sistema de coordenadas. La paridad es una idea importante en la mecánica cuántica, ya que

las funciones de onda que representan las partículas, pueden comportarse de maneras diferentes, bajo una transformación del sistema de coordenadas que las describe.

2. CONJUNCION DE CARGAS

Clásicamente, la conjugación de carga puede parecer una idea simple: basta con sustituir las cargas positivas por cargas negativas y viceversa. Dado que los campos eléctricos y magnéticos tienen sus orígenes en las cargas, también se deben invertir estos campos.

En los sistemas mecánicos cuánticos, la conjugación de cargas tiene algunas implicaciones adicionales. También implica invertir todos los números cuánticos internos, como los de número de leptones, número bariónico y la extrañeza. No afecta a la masa, la energía, el momento o el espín

Suponiendo la conjugación de carga como un operador, C , entonces los procesos electromagnéticos son invariantes bajo la operación C , ya que las ecuaciones de Maxwell son invariantes bajo C . Esto restringe algunos tipos de procesos entre partículas. Das y Ferbel procedieron mediante la definición de una paridad de carga de $\eta_C(\gamma) = -1$ para un fotón, ya que la operación C invierte el campo eléctrico. Esto limita el decaimiento electromagnético de una partícula neutral como el π^0 . El decaimiento del π^0 es:

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$$

Esto implica que la paridad de carga o el comportamiento bajo conjugación de carga de un π^0 es:

$$\eta_C(\pi^0) = \eta_C(\gamma)\eta_C(\gamma) = (-1)^2 = +1$$

La simetría de conjugación de carga implicaría que el π^0 no decaería en

$$\pi^0 \rightarrow \gamma$$

que ya conocemos, porque no puede conservar el momento, pero el decaimiento

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma + \gamma$$

puede conservar el momento. Este decaimiento no puede suceder porque violaría la simetría de conjugación de carga.

3. INVERSIÓN DE TIEMPO

En términos clásicos simples, la inversión del tiempo significa simplemente reemplazar t por $-t$, invirtiendo la dirección del flujo del tiempo. Al invertir el tiempo,

también se invierte las derivadas temporales de las magnitudes espaciales, por lo que se invierte el momento y el momento angular. La segunda ley de Newton es cuadrática en el tiempo y es invariante bajo la inversión del tiempo. Su invariancia bajo la inversión temporal es válida para tanto las fuerzas gravitacionales, como las electromagnéticas.

INVARIENCIA CPT

Tres de las simetrías que generalmente, pero no siempre se mantienen, son las de conjugación de carga (C), la paridad (P), y la inversión del tiempo (T):

- Conjugación de carga (C): la inversión de la carga eléctrica y todos los números cuánticos internos.
- Paridad (P): la inversión del espacio; inversión de las coordenadas espaciales, pero no el tiempo.
- Inversión del tiempo (T): la sustitución de t por $-t$. Esto invierte las derivadas temporales como el momento y el momento angular.

Se pueden citar ejemplos en la naturaleza, de violación de cada una de estas simetrías individualmente. Se pensó durante un tiempo que la aplicación de CP (transformación de paridad más conjugación de carga) siempre dejaba un sistema invariante, pero el notable ejemplo de los kaones neutros, ha mostrado una leve violación de la simetría CP.

- ✓ Las partículas de espín entero obedecen las estadísticas de Bose-Einstein, y las partículas de espín semi-entero obedecen las estadísticas de Fermi-Dirac. Los operadores con espines enteros deben ser cuantizados utilizando relaciones de conmutación, mientras que para los operadores con espín semi-entero, deben utilizarse relaciones de anticonmutación.
- ✓ Las partículas y antipartículas tienen masas y tiempos de vida idénticas. Esto surge de la invariancia CPT de las teorías físicas.
- ✓ Todos los números internos cuánticos de las antipartículas son opuestos a los de las partículas.

BOSÓN DE HIGGS

La partícula recientemente descubierta por el LHC tiene un espín de 0 o de +2, como lo es para todos los bosones, que tienen un espín entero. Su masa oscila entre los 125 GeV. Su descubrimiento implicó el empleo de técnicas indirectas de medición, por lo que sería un error asegurar en un 100% que esa partícula nueva descubierta es el Bosón de Higgs.

Para poder detectar al bosón, se estudiaron diferentes propuestas en los que se explica se origina o se desintegra un bosón de Higgs. Expondremos las siguientes interacciones en el siguiente esquema:

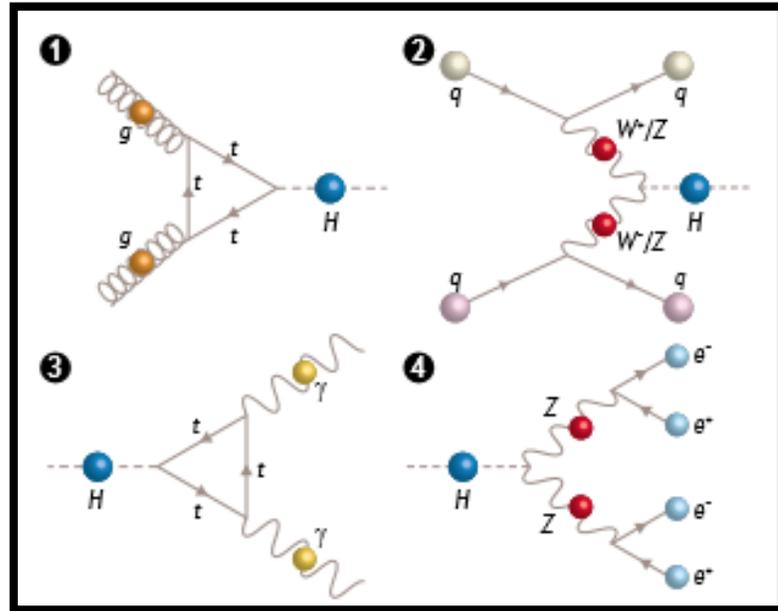


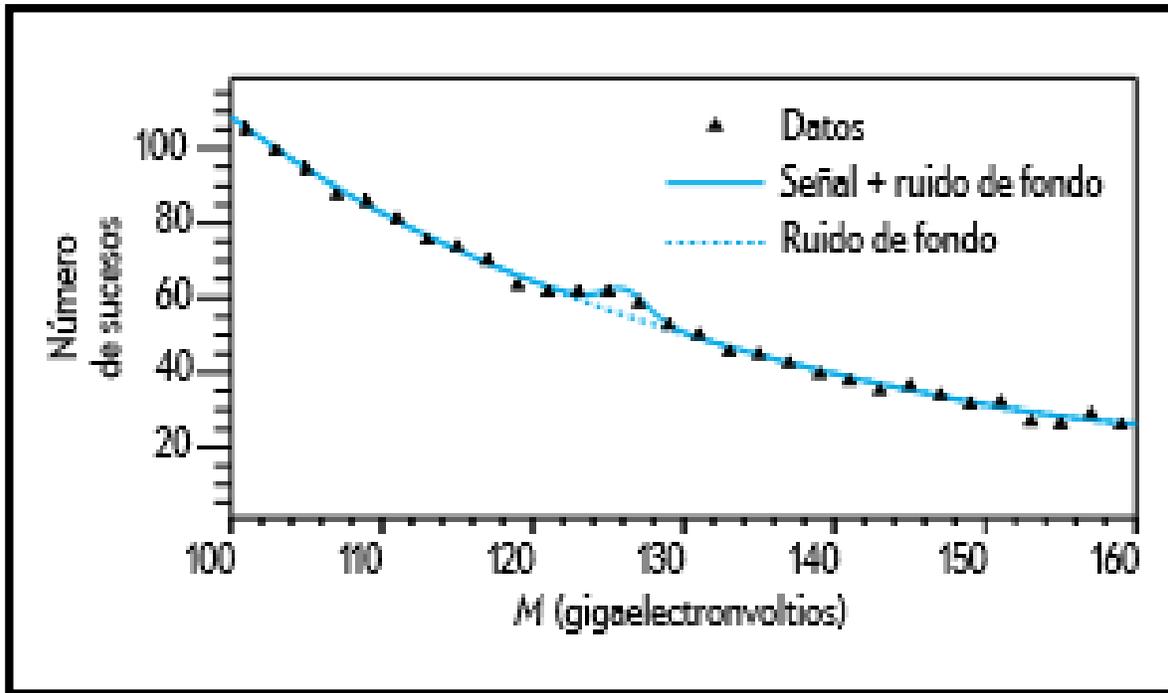
Figura 2. Los diferentes procesos en los que se puede obtener un bosón de Higgs a partir de la fusión de dos gluones con un intermediario de quarks virtuales¹ (1) o a partir de la fusión de un par de bosones Z y W, que fueron emitidos a la vez por quarks (2). Se desintegra a su vez en dos fotones a través de un bucle de quarks (3), y finalmente puede desintegrarse en dos bosones Z, que darán lugar a un par electrón-positrón.

Lo que se lleva a cabo en el LHC es encontrar procesos como los mencionados en el esquema anterior para ver si alguno de esos procesos pertenecen al Bosón de Higgs. Evidentemente, hay otras partículas que generan procesos similares, por lo que generan algo llamado “ruido de fondo”, en contraposición a “señal”, que es donde realmente se produce un Bosón de Higgs.

Para poder llevar a cabo este procedimiento, se deben estudiar minuciosamente todas las maneras posibles de colisiones y su interacción en el acelerador, para así ir descartando y tener resultados finales posibles. Y finalmente, se emplean métodos estadísticos para obtener esa señal. Como es muy difícil detectar

¹ Esto hace referencia a que en el momento en que hay una formación o interacciones de las partículas, se crean partículas donde su tiempo de vida es tan corto, que es complicado tener dimensiones de ésta. No nos adentraremos mucho a detalle, solo especificar que se generan por la ley de conservación, y al instante son aniquiladas. Este proceso ocurre en el vacío.

directamente una señal, se recurre a métodos estadísticos, como el que presentamos a continuación, en donde se ven los procesos en donde se producen dos fotones, y se obtuvo una señal:



Gráfica 1. representa números de sucesos vs M producida. Vemos aquí que entre el rango de 125-126 GeV de masa hubo un pico en la gráfica. Esto nos dice que esa partícula hipotética tiene una masa aproximada de 125 Gigaelectronvolts.

En este caso, vemos que el pico se origina alrededor de los 125GeV, y podemos considerar que el rango es fidedigno porque, dentro de la estadística, cuando se analizan gráfica, podemos considerar como verdadero el rango que comprende 5 sigma de los datos, lo que sucede arriba en la gráfica. Por lo que vemos que la masa y diversas características de esta nueva partícula son indirectos, y no podemos asegurar en un 100% si es o no el Bosón de Higgs.

Campo de Higgs

En los primeros instantes del universo, cuando las partículas se comenzaban a enfriar y así perder su energía, la extraña propiedad que hoy conocemos como masa aun no existía.

Cuando se enfrió un poco más, apareció un extraño campo que se comenzó a materializar como el agua se vuelve hielo, este campo es conocido como Campo de Higgs, para este momento las partículas aún se movían a una velocidad cercana a la de la luz, algunas partículas atravesaban el campo sin ningún impedimento pero otras se arrastraban con más dificultad y así disminuían su velocidad, era como si dicho campo, estuviera actuando como una gran pasta viscosa selectiva; Entre más velocidad perdiera la partícula, mas concentraba su energía, hasta volverse energía súper concentrada o que hoy conocemos como "masa"; Einstein demostró que la materia y la energía son intercambiables, esto quiere decir que la energía se puede transformar en masa, y la masa se puede transformar en energía.

Para poder entender esto, debemos comenzar por explicar que es un campo; un campo representa la distribución espacial de una magnitud física que muestra cierta variación en una región del espacio. Matemáticamente, los campos se representan mediante la función que los define. Gráficamente, se suelen representar mediante líneas o superficies de igual magnitud, este concepto fue introducido para explicar la acción a distancia de las fuerzas de gravedad, eléctrica y magnética, aunque con el tiempo su significado se ha extendido substancialmente, para describir variaciones de temperatura, tensiones mecánicas en un cuerpo, propagación de ondas, etc.

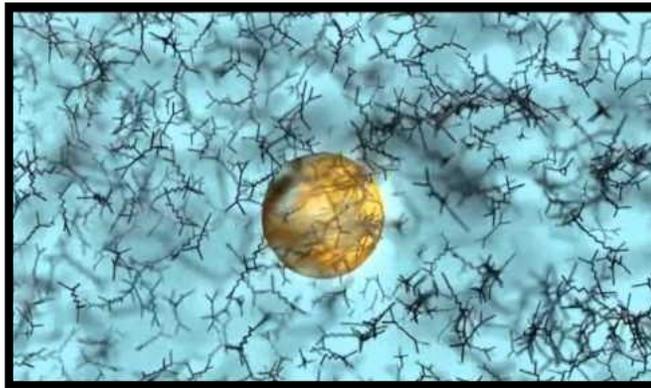


Figura 3. Representación del campo de Higgs

Retomando a la mecánica cuántica, en el modelo estándar de la materia , los bosones son aquellas partículas llamadas también portadoras de fuerza, son las partículas encargadas de todas las interacciones de la materia, estas interacciones generan los campos, un ejemplo de ello es el fotón, el cual al excitarse genera el llamado campo electromagnético.

Así como el bosón fotón, el bosón de Higgs crea también un campo, El campo de Higgs aquel que interactúa con partículas elementales como Muones, quarks, electrones, neutrinos, etc. Cada partícula reacciona diferente al contacto con dicho campo, algunas más que otras.

Este campo no se comporta como los otros campos, tomando una vez más de ejemplo el campo electromagnético, cuando está en estado de reposo desaparece, mientras que el campo de Higgs en lugar de desaparecer toma un valor finito (el valor medio de vacío) lo cual puede mantener a las partículas elementales en tensión. Para poder entender esto mejor pongamos de ejemplo que tenemos un vaso lleno de jabón, que pasa si dejamos caer una canica de una altura determinada del vaso, lo que va a ocurrir es que la canica entrará a el jabón con una determinada velocidad pero al momento de estar en el fluido altamente viscoso la velocidad de la canica disminuirá de una manera considerable. Esto es exactamente lo que ocurre en este campo, genera una especie de vacío medio (lo equivalente a el jabón) y las partículas comienzan a disminuir su velocidad, de esta manera la velocidad perdida por principio de conservación se podrá medir con la nueva propiedad que adquieren las partículas, la masa

MASA Y RUPTURA DE LA SIMETRÍA

Como mencionamos con anterioridad, las simetrías CPT son las que rigen el modelo estándar, y más en específico, son transformaciones “locales”, que representan en forma matemática un operador, y que al final conservan su identidad.

El modelo Estándar funciona cuando todas las partículas se encuentran en su estado de menor energía, y sólo es posible si todas las partículas tienen masa igual a cero. Evidentemente esto no es lo que sucede, ya que en el grupo de los fermiones, los bosones W y Z sí tienen masa, pero el fotón y la partícula hipotética gravitón no la tienen, pero tienen energía. Entonces es necesario conocer el verdadero valor de masa.

Debemos descartar que la masa es la cantidad de materia en un objeto, o también que la energía y la materia son lo mismo. Y de manera empírica, podemos verlo en la luz, que a pesar de carecer de masa, tienen materia y energía. Por lo que entraremos a la mecánica cuántica para definir este hecho

Primeramente, tenemos que considerar el número cuántico llamado “spín”, el cual nos dicta el sentido de giro que realiza esta partícula. Y si a ese giro, se le asigna el sentido de dirección, se le llama **helicidad**, la cual va a denominar a las particular helicidad Derecha o Zurdas, Para diferenciarlas, se sigue la regla de “la mano derecha”, en donde si hacemos el giro “spin” con la mano derecha, el pulgar

señala la dirección que toma. Si es paralelo a la dirección del dedo pulgar, entonces se llaman “de helicidad derecha”, y viceversa.

Otro concepto importante aquí, y es el que define *a posteriori* la masa es la **quiralidad**. Esta propiedad determina en los fermiones en qué sentido se desplaza la fase de función de onda cuando lo rotamos a 360°, sufriendo un cambio en sus números cuánticos.

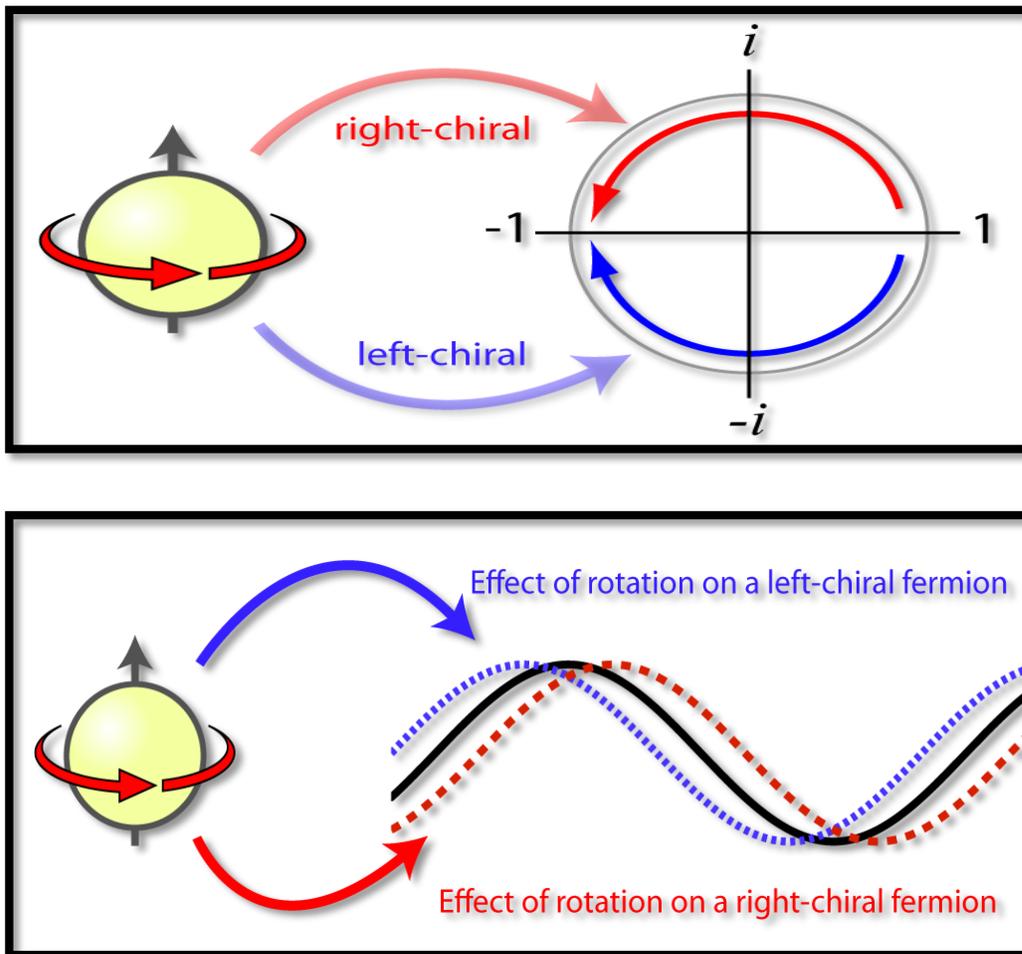


Figura 3 que ejemplifica lo que sucede con la quiralidad zurda y derecha de una partícula.

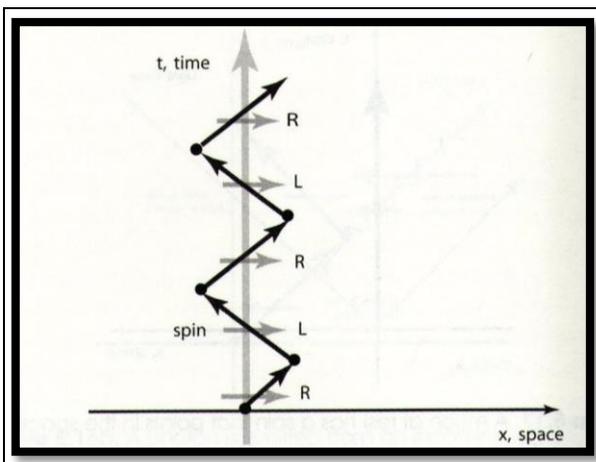
Para comprender de manera más objetiva el concepto de masa, imaginemos que aceleramos una partícula a la velocidad de la luz², y sólo vemos que es de quiralidad izquierda. Observaremos que mantiene su espín, y no podemos comprobar su la quiralidad cambia, como en la luz. Ahora, al regresarlo a

² Sabemos que por la relatividad no podemos de ninguna manera alcanzar al velocidad de la luz, pues la ecuación $E=mc^2$ es un límite cuando la velocidad de la luz tiene a infinito

velocidad casi cercanas a la luz, podemos ver 2 quiralidad y helicidades diferentes, pues a medida que un acelera y se acerca a dicha partícula, veremos que su dirección y giro son paralelos en el caso de un electrón. Pero si lo rebasamos, porque tenemos la posibilidad de hacerlo, vemos que su dirección es contraria a la que veníamos observando. Entonces, en las partículas con masa, existe la quiralidad zurda y derecha a la vez, y ambas son una partícula diferente. Por ejemplo, lo que conocemos como electrón, es la integración de un electrón (L) y un anti-positrón (D). el electrón tiene además carga débil, y el anti-positrón no. Pero tienen características muy parecidas, que permiten en la mecánica cuántica presentar un fenómeno llamado “oscilación”, donde por principio de superposición las partículas actúan como una sola, como lo que sucede en el electrón. Pero entonces, se debe mantener una conservación.

La carga eléctrica es la misma para ambos, su masa es la misma, es decir, que en la electrodinámica cuántica, se respeta la paridad (a pesar del cambio de quiralidad zurda o derecha, se mantuvo constante la carga); pero su carga débil no. Por lo que nos preguntamos ¿Por qué entonces pueden interactuar entre sí). Y es cuando interviene el Bosón de Higgs, el cual, al tener la carga débil de -1, como el electrón izquierdo, hay una interacción entre ellos, donde el electrón débil pierde esa carga débil, y a su vez, obtiene masa, según la interacción que tenga la partícula con el Campo de Higgs descrito anteriormente.

Masa es, por consiguiente, la *oscilación en el tiempo entre la quiralidad zurda y derecha de una partícula.*



En la figura 4.1 vemos la gráfica de espacio-tiempo vs tiempo, donde se observan las dobles quiralidades que presenta una partícula con masa.



En la figura 4.2 vemos una partícula que hipotéticamente viaja a la velocidad de la luz, sólo presenta la quiralidad zurda, y por tanto no tiene masa.

CONCLUSIONES

Analizando la investigación realizada, podemos observar la necesidad de a existencia de un mecanismo que haga posible mantener la simetría CPT empleada en el Modelo Estándar. Sin embargo, vemos que estos resultados son obtenidos de medidas indirectas, y no hay nada que nos asegura que este partícula encontrada en el 2012 por el LHC sea el bosón de Higgs que se busca, por lo que son necesarios obtener medidas más precisas para poder asegurarnos de su descubrimiento.

Por otro lado, su existencia de manera teórica parece indispensable para poder entender nuestro alrededor y no caer en contradicciones con el Modelo Estándar. Vemos entonces que, en el caso de la fuerza débil, la simetría de Paridad se conserva, si se tiene la existencia del Bosón de Higgs. Pero hay más campos en donde haría falta la necesidad de explicar un bosón capaz de corregir las simetrías locales que no se logran, según los cálculos que han hecho los físicos teóricos.

Es por consiguiente necesario tomar en cuenta nuevas teorías y modelos que traten de explicar la naturaleza del bosón de Higgs. Algunos modelos se denominan “Modelos De Higgs pequeños”, donde dan respuesta de manera teórica las incongruencias que sugiere el Modelo Estándar. Hay otras teorías, donde exhiben la necesidad de un operador que tenga relaciones con sexta dimensión. No nos involucramos demasiado en cuanto a la existencia de una sexta dimensión, ni de cómo afectarían esos operadores en las ecuaciones del Modelo, pero hay que resaltar que algunos sugiere la existencia de más de un Bosón de Higgs, con características que varían en comparación con el aparente descubrimiento del LHC; y a su vez, utilizan estos operadores para demostrar que el Bosón de Higgs no es importante en el Modelo Estándar, ya que se argumenta de que su composición no es fundamental, y que entonces, hay más partículas sin descubrir que pueden aclarar la funcionalidad del bosón de Higgs.

Finalmente, nuestro proyecto cumplió con los objetivos planteados, y podemos concluir que son necesarios los futuros experimentos que realice el Colisionador de Hadrones para poder entender mejor la naturaleza del bosón de Higgs, puesto que en estos momentos sólo podemos dar una explicación teórica o matemática de lo que realmente sucede, y hace falta la comprobación experimental. Pero podemos afirmar que el modelo Estándar sigue siendo teoría, y no podemos decir que es una Ley, puesto que hay mucho por descubrir y comprobar.

BIBLIOGRAFÍA

Alonso, M., & Finn, E. J. (1971). Física: Fundamentos cuanticos y estadisticos: V3 (Vol. 3). México, D.F.: Fondo Educativo Interamericano.

Chacon, E. (2010). Apuntes del Curso de Mecánica Cuántica de Marcos Moshinsky. México, D.F.: Las prensas de ciencias.

Ellis, J., Sánchez, V., & You, T. (2014, October 28). The Effective Standard Model after LHC Run I. Consultado el 13 de febrero de 2016, en https://www.researchgate.net/publication/267515444_The_effective_Standard_Model_after_LHC_Run_I

Kaku, M., & Sanz, J. G. (1996). Hiperespacio: Una odisea científica a través de universos paralelos, distorsiones del tiempo y la décima dimensión (1996 ed.). Barcelona: Crítica.

Lederman, L. M., & Hill, C. T. (2013). Beyond the god particle (1st ed.). New York: Prometheus.

Lederman, L., & Teresi, D. (1996). La partícula divina: Si el universo es la respuesta, ¿cuál es la pregunta (2006 ed.). Barcelona: Crítica.

Olmo, M. (n.d.). Paridad. Consultado el 10 de febrero de 2016 en <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/quantum/parity.html>

Gröber, R., Muhleitner, M., Spira, M., & Streicher, J. (2015, April 15). NLO QCD Corrections to Higgs Pair Production including Dimension-6 Operators. Consultado el 14 de febrero de 2016 en <http://arxiv.org/pdf/1504.06577v1.pdf>